

**KUMLU ZEMİNLERE OTURAN
ŞERİT TEMELLER ALTINDA
YATAY GERİLME DEĞİŞMELERİ**

M. LAMAN
Doç. Dr.

M.A. TEKİNSOY
Prof. Dr.

M.S. KESKİN
Arş. Gör.

E. UNCULOĞLU
Arş. Gör.

M. ÖRNEK
Arş. Gör.

A. DEMİR
Arş. Gör.

Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana, TÜRKİYE
Tel : +90 322 338 60 84-2721 skeskin@cu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, kumlu zeminler üzerine oturan şerit yüklü temelin, zemin içinde oluşturduğu ilave yatay gerilme değerleri, model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneyler kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve gerilme değerlerini bulmak için basınç transduseri kullanılmıştır. Ayrıca, sıklık etkisinin araştırılması için deneyler, iki farklı sıklıkta hazırlanan, kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Boussinesq'in verdiği değerler ile karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Yapı ağırlığı gibi bir yük zemine temellerle aktarıldığında; zemin içindeki gerilmelerde, yükün etkideği alanın altında daha yoğun olmak üzere, artımlar meydana gelir. Bu gerilmelerin şiddetinin ve dağılımının bilinmesi,

birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir (1). Gerilme değerlerine dayanılarak oturmalar hesaplanır, zemin incelemelerinin kapsamı tayin edilir.

Zeminin karmaşık yapısından dolayı, zemin için gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle zeminlerdeki gerilme artımı problemi, zeminin lineer elastik ve yarı sonsuz bir uzay olduğu varsayımıyla, elastik çözümlerle bulunmaya çalışılmaktadır. Elastisite teorisinden yararlanarak elde edilen çözümlerde, düşey gerilme dağılımları zeminin malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca zeminin cinsi ve sıklık gibi parametreleri dikkate alınamamakta, her cins zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilmektedir (2).

Zemin yüzüne uygulanan düşey yükler altında meydana gelen yatay gerilmeler ve bunların derinlikle değişimi de yine elastisite teorisi kullanılarak bulunmaya çalışılmaktadır. Bu çözümlerde düşey gerilmelerden farklı olarak yatay gerilmeler, zeminin elastisite modülü ve poisson oranına bağımlı olmaktadır. Sonuç olarak temel inşaatında, zemin özelliklerine ait elastik parametrelerin gerçekçi olarak saptanması, başlı başına bir problem olmaktadır (3).

Boussinesq probleminde; gerilme dağılımının, sadece kuvvet gibi dinamik ve geometrik faktörlere bağlı olduğu görülmektedir. Oysa zeminler için, zemin cinsinin ve onun aktaracağı gerilmelerin önemi büyüktür.

Bu yüzden, zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerinin dencysel yollarla bulunması ve bulunan değerlerin kuramsal olarak elde edilen Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılması zorunluluğu vardır.

AMAÇ

Bu çalışmada, elastisite yardımı ile hesaplanan ilave yatay gerilme değerlerinin, deneysel yolla bulunup, sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada farklı sıklıktaki kum numuneler, model şerit temel plakası vasıtasıyla yüklenerek, oluşan ilave yatay gerilme değerlerine sıklık ve derinliğin etkisi araştırılmıştır.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

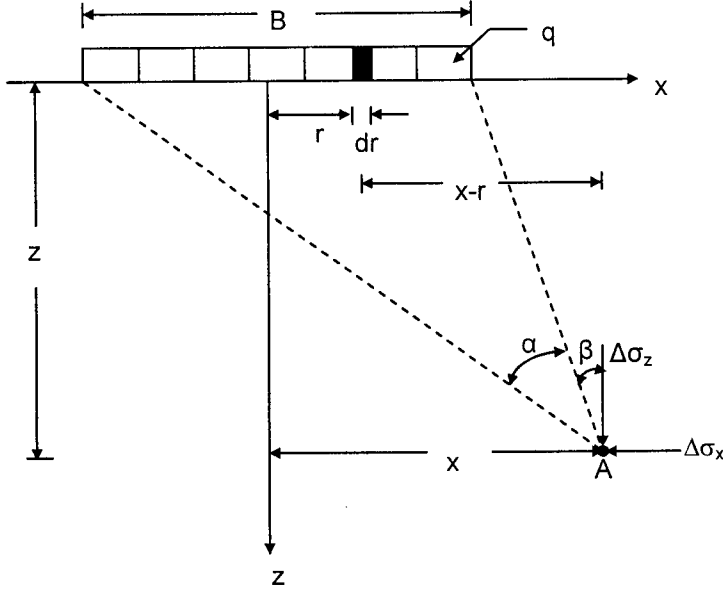
Zeminlerde oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerinin belirlenmesi amacıyla, birçok araştırmacı tarafından laboratuvar düzenekleri geliştirilmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır [Terzaghi (4), Kjellman (5), Hendron (6), Saglamer (7), Bellotti et al. (8), Hanna and Ghaly (9), Hanna and Soliman-Saad (10)].

Ayrıca kaynaklarda, elastisite teorisinden yararlanılarak, geliştirilmiş kuramsal çözümler mevcuttur. Boussinesq (11) tarafından elde edilmiş olan tekil yük ifadesinin integrasyonu ile, Şekil 1'de gösterilen üniform yayılı şerit yükten dolayı, temelin merkezi altında oluşan ilave düşey ve yatay gerilme dağılımları,

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi h} [\alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} (\alpha - \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta)) \quad (2)$$

bağıntılarından hesaplanabilmektedir. Bağıntılarda ilk parantezden hemen sonra gelen α radyan cinsindedir. Düşey ve yatay gerilme değerleri Jurgenson (12) tarafından x , z , B ve q değerlerine bağlı olarak tablolaştırılmıştır (13).



Sekil 1. Üniform Şerit Yük

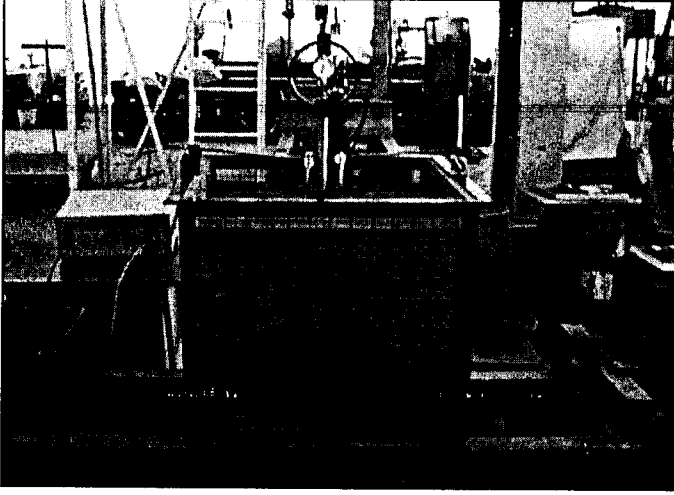
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma, kum zeminlere yerleştirilen model temel plakasının yüklenmesi sonucu, zemin içinde oluşan ilave yatay gerilmelerin ölçülmesi ve bulunan değerlerle, sıklık ve derinlik etkisinin araştırılmasını içermektedir. Araştırmada, model temel olarak şerit plaka, gerilmeleri ölçmek için basınç transduceri, gerilme değerlerini okuyabilmek için ise, strain indikatör kullanılmıştır.

Deney Düzenegi

Kumlu zeminlerde gerilme ölçümü ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar, Şekil 2'de verilen, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarındaki 70cm × 70cm genişliğinde ve 70cm yüksekliğindeki kare kesitli deney kasası içerisinde

gerçekleştirilmiştir. Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzeyi 8mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban ise, 20mm kalınlığındaki ahşap malzemeden imal edilmiştir.



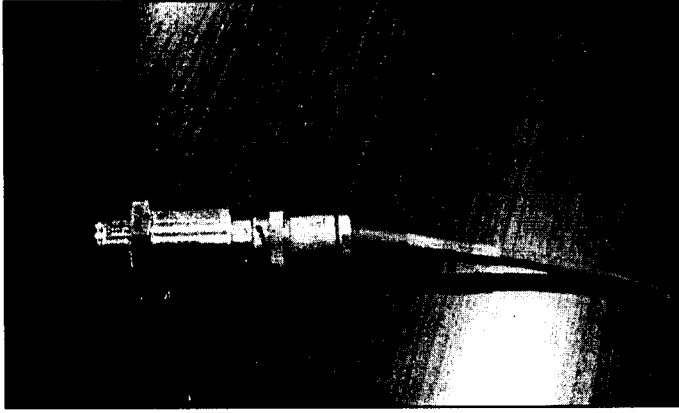
Şekil 2. Deney Kasası

Deneyisel çalışmada model temel olarak, 2cm kalınlığında, genişliği 7.5cm, uzunluğu 41.25cm olan rijit şerit temel plaka kullanılmıştır. Bu nedenle, yükleme sırasında oluşacak taban basıncı dağılımının üniform olarak gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Deneylerde kullanılan yükleme sistemi, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarındaki yükleme iskeletine, CONTROL-S firması tarafından imal edilen 45 kN kapasiteli, mekanik kriko monte edilerek oluşturulmuştur. Deneylerde model temel plakalarına uygulanan yük değerlerini okumak için, 10 kN kapasiteli yük halkası kullanılmıştır.

Herhangi bir malzeme üzerinde yüklemelerden dolayı meydana gelen gerilmeleri ölçmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler mekanik, optik ve elektriksel teknikler üzerine kurulu deneysel yöntemlerdir. Bu yöntemlerin çoğunda, gerilme doğrudan ölçülememektedir. Gerilmeler,

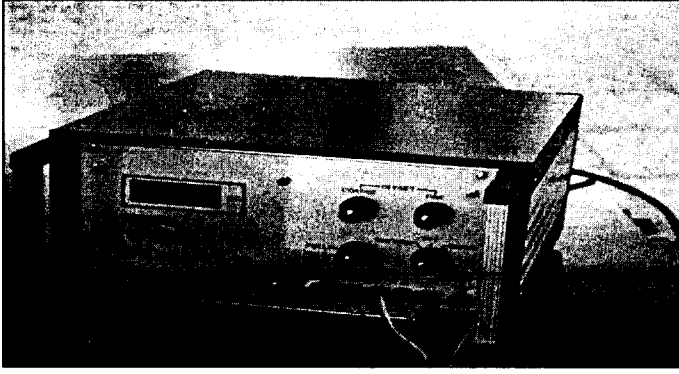
malzemenin deformasyon gibi ölçülebilir parametreleri üzerinden hesaplanmaktadır. Çalışmada kullanılan basınç transduserinin, diğer yöntemlere göre üstünlüğü ölçümlerin doğrudan yapılabilmesidir. Yükleme nedeniyle, temel plakası merkezinde meydana gelen düşey ve yatay gerilmeleri ölçmek için, 10bar kapasiteli, Alman HBM firması tarafından imal edilen E 67746 seri numaralı diyafram tipi basınç transduseri kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Basınç Transduseri

Gerilme analizi uygulamalarında, transduserlerin doğru bir şekilde monte edilmesi çok büyük önem taşır. Hatalı monte işlemi, tamamen hatalı sonuçların alınmasına yol açmaktadır (3). Bu çalışmada transduser, deneylerin yapıldığı kasanın merkezine gelecek şekilde monte edilmiştir.

Deneyler sırasında transduserde meydana gelen değişimlerin, dolayısıyla gerilmelerin okunması için, "Measurements Group" tarafından üretilen E10-MkII tipi portatif, dijital strain indikatör kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Strain İndikatör

Kum numuneler kasa içerisine, tabakalar halinde ve belirlenen sıklık oranlarında yerleştirilmiştir. Bu amaçla deney kasasının duvarları ölçeklendirilmiştir. Her bir kum tabakası, elektrikle çalışan BOSCH GBH 2-24 DSE titreşim cihazı ile, önceden belirlenen derinliğe kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sırasında üniform sıklık elde etmek ve kum danelerinin ezilmesini önlemek amacıyla, titreşim cihazının uç kısmına 13cm × 13cm boyutlarında ve 20mm kalınlığında, merlin malzemeden imal edilen plaka monte edilmiştir.

Zemin Özellikleri

Deneysel çalışmalarda, Çukurova Bölgesi, Seyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numuneler üzerinde yapılan elek analizi ve piknometre deneyleri sonucunda, kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s=26.8 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur.

DENEYSEL VE TEORİK ÇÖZÜMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

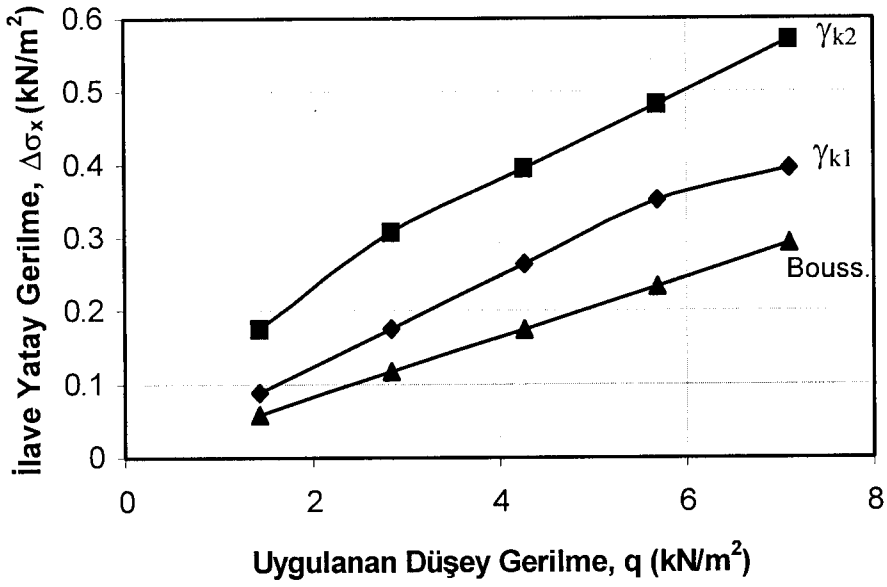
Çalışmada, $B=7.5\text{cm}$ genişliğindeki şerit temel altında; iki farklı sıklıkta ($\gamma_k=15.0\text{ kN/m}^3$ ve 17.1 kN/m^3) hazırlanan, kum zemin koşullarında, üç farklı derinlikte (1.0B, 1.5B ve 2.0B) deneyler yapılmıştır. Kasa içerisinde yatay konumda yerleştirilen transduser yardımıyla temel merkezinin altında üç farklı derinlikte yatay gerilme ölçümleri alınmıştır. Deney sonuçları Denklem 2’de verilen Boussinesq çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçları ve teorik çözümler Çizelge 1’de toplu halde gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 5, 6 ve 7’de sırasıyla $z=1.0B$, $z=1.5B$ ve $z=2.0B$ derinliklerinde, iki farklı sıklıkta elde edilen sonuçlar grafik olarak karşılaştırılmıştır.

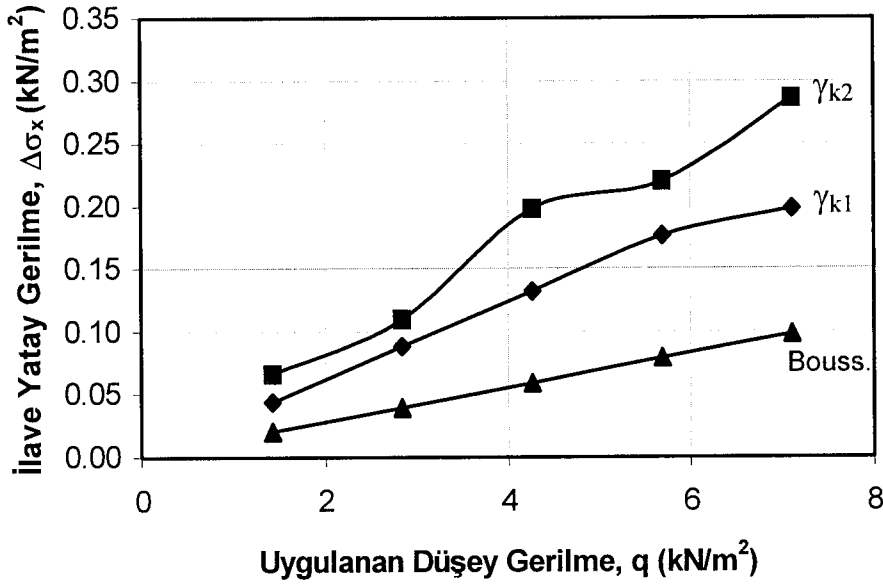
Çizelge 1’de verilen değerler incelendiğinde, derinlik arttıkça ilave gerilme değerlerinin azaldığı, Boussinesq çözümlerinin ölçüm alınan her üç derinlikte de deney sonuçlarından düşük kaldığı görülmektedir. Boussinesq çözümleri, gevşek halde hazırlanan zeminde oluşan yatay gerilme değerlerine daha yakın sonuçlar vermektedir. Sıkı halde oluşan yatay gerilme değerlerinin ise, derinlik arttıkça daha büyük değerler verdiği gözlenmektedir. Ayrıca deney sonuçlarına göre; sıklığın artmasına bağlı olarak, yatay gerilme değerlerinde artış gözlenmiştir. Oysa Boussinesq çözümü her iki sıklık değeri için de, aynı sonuçları vermektedir.

Çizelge 1. B=7.5cm'lik Şerit Temelde Farklı Sıklıkta Oluşan Yatay Gerilmeler

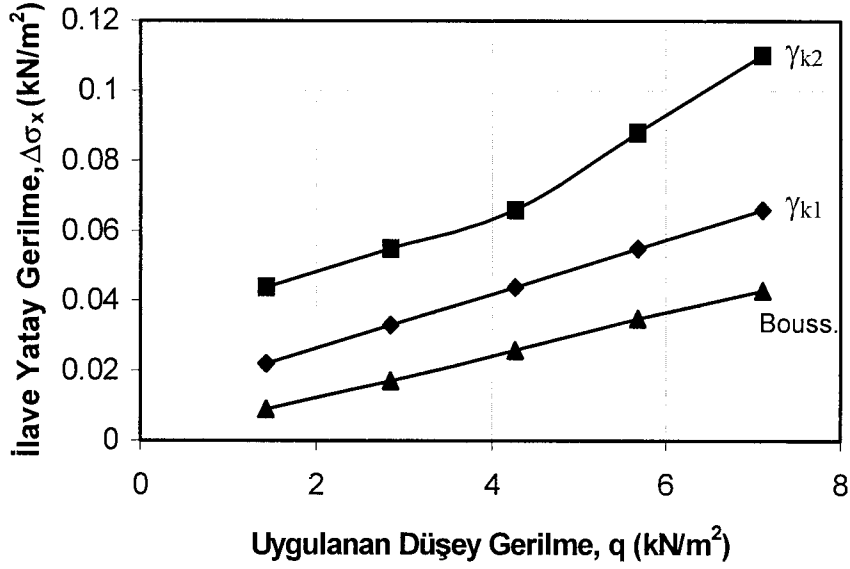
z (m)	q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_x$ (kN/m ²)			
		DENEYSEL		TEORİK	
		$\gamma_{k1}=15.0$ (kN/m ²)	$\gamma_{k2}=17.1$ (kN/m ²)	$\gamma_{k1}=15.0$ (kN/m ²)	$\gamma_{k2}=17.1$ (kN/m ²)
0.075 (1.0B)	1.422	0.088	0.176	0.058	0.058
	2.844	0.176	0.308	0.117	0.117
	4.267	0.264	0.395	0.175	0.175
	5.689	0.352	0.483	0.233	0.233
	7.111	0.395	0.571	0.292	0.292
0.1125 (1.5B)	1.422	0.044	0.066	0.020	0.020
	2.844	0.088	0.110	0.039	0.039
	4.267	0.132	0.198	0.059	0.059
	5.689	0.176	0.220	0.079	0.079
	7.111	0.198	0.286	0.098	0.098
0.150 (2.0B)	1.422	0.022	0.044	0.009	0.009
	2.844	0.033	0.055	0.017	0.017
	4.267	0.044	0.066	0.026	0.026
	5.689	0.055	0.088	0.035	0.035
	7.111	0.066	0.110	0.043	0.043



Şekil 5. $z=1.0B=7.5\text{cm}$ Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı



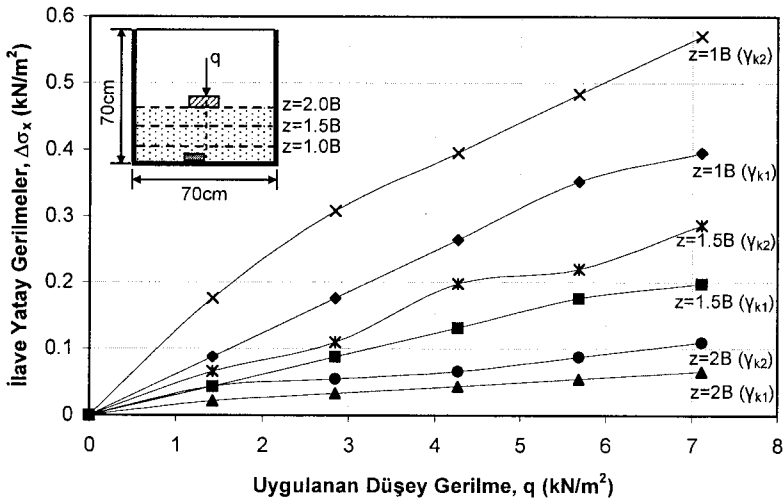
Şekil 6. $z=1.5B=11.25\text{cm}$ Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı



Şekil 7. $z=2.0B=15\text{cm}$ Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı

Şerit Temelde Farklı Sıklıktaki Yatay Gerilmelerin Karşılaştırılması

Aşağıda, iki farklı sıklıkta, aynı yükleme kademeleri altında şerit temelde, üç farklı derinlik için ölçülen, yatay gerilmelerin dağılımı görülmektedir.



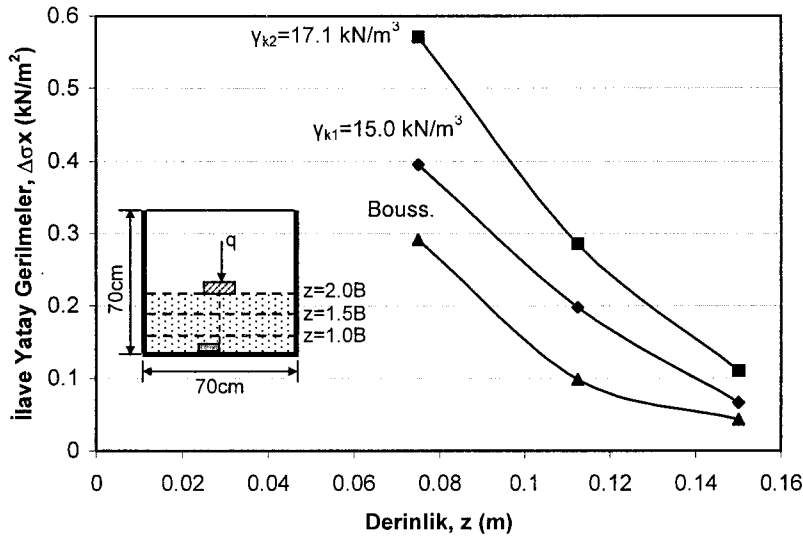
Şekil 8. Şerit Temelde Farklı Sıklıklarda Yatay Gerilme Dağılımı

Şekil 8'den; ölçüm yapılan tüm derinliklerde, daha büyük γ_k değerinde, daha büyük yatay gerilme değerlerinin oluştuğu gözlenmektedir.

Çizelge 3'te, her üç derinlikte de ortak bir q yükü alınarak bu yük altında oluşan yatay gerilme değerleri Boussinesq çözümleri ile birlikte verilmiştir. Ayrıca, bu sonuçlar Şekil 9'da grafik olarak da gösterilmiştir.

Çizelge 3. Şerit Temelde Değişik Derinliklerde Yatay Gerilme Değerleri

z (m)	q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_x$ (kN/m ²)		
		Deneysel		Boussinesq
		γ_{k1}	γ_{k2}	
1.0B	7.111	0.395	0.571	0.292
1.5B	7.111	0.198	0.286	0.098
2.0B	7.111	0.066	0.110	0.043



Şekil 9. Şerit Temelde Yatay Gerilmelerin Derinlikle Dağılımı

Şekil 9'dan, derinlik arttıkça ölçülen yatay gerilme değerlerinin azaldığı, daha gevşek durumda elde edilen gerilme değerlerinin ise, teorik sonuçlara daha yakın olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Deneysel ve teorik çalışmalar sonunda, şerit temelin merkezi altında, z derinliğinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılışının aynı karakteristik şekli gösterdiği; ölçüm derinliğinin artmasıyla, temel plakası merkezinin altındaki basıncın da azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin, uygulanan yük ile orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Kaynaklardaki mevcut çözümlerde, ilave yatay gerilmeler hesaplanırken, zeminin sıklık durumunun gözönüne alınmadığı, her sıklık değeri için aynı sonuçların elde edildiği görülmüş, oysa deney sonuçlarından, sıklık değerinin artmasıyla, eşit derinliklerde ve aynı yükler altında, ilave yatay gerilme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Oysa, gevşek halde hazırlanan kum zemin üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçların kuramsal sonuçlara daha yakın olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Uzuner,B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 376s, 1998.
2. Tekinsoy, M. A., Laman, M., Elastik Zemin Problemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi, Isparta 2000, 316 sayfa.
3. Özaydın, K., Zemin Mekaniği, Meya Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul 1989, 395 sayfa.
4. Terzaghi,K., "Old Earth Pressure Theories and New Test Results", Engrg. News-Rec., 85 (14), 632-637, 1920.
5. Kjellman,W., "Report on an Apparatus for the Determination of the Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest", Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mech. And Fnd. Engrg., Harvard Printing Office, Cambridge, Mass. 2, 1936, 16-20.

6. Hendron, A.J., "The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression" Ph. D. Thesis, University of Illinois, USA 1963.
7. Sađlamer, A., "Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi" Ph.D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 1972.
8. Bellotti, R., Formigoni, G., and Jamiolkowski, M., 1975. Remarks on the Effects of Overconsolidation on K_0 . Proc., Istanbul Conf. On Soil Mech. And Found. Engrg., Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara, Turkey, 1, 17-25.
9. Hanna, A., and Ghaly, A., "Effects of K_0 and Overconsolidation on Uplift Capacity", Journal of Geotechnical Engineering, 118 (9), 1992, 1449-1469.
10. Hanna, A.M., Soliman-Saad, N., "Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed," Geotechnical Testing Journal, Vol 24, No (4), 2001, pp 430-
11. Boussinesq, J., "Application des Potentiels a L'etude de L'equilbre et du Movement des Solids Elastiques", Gauthier-Villars, Paris, 1885.
12. Jurgenson, L., "The Application of Theories of Elasticity and Plasticity to Foundation Problems", Contributions to Soil Mechanics, 1925-1940, Boston Society of Civil Engineers, 1934.
13. Poulos, H.G., and Davis, E.H., Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, John Wiley and Sons, Inc., 1974, 411p.

**HORIZONTAL STRESS ANALYSIS OF THE STRIP
FOOTINGS
RESTED ON SANDY SOILS**

M. LAMAN
Assoc. Prof.

M.A. TEKİNSOY
Prof. Dr.

M.S. KESKİN
Res. Assist.

E. UNCUOĞLU
Res. Assist.

M. ÖRNEK
Res. Assist.

A. DEMİR
Res. Assist.

Cukurova University The Faculty of Engineering and Architecture,
Civil Eng. Dept.
Adana, TURKEY

ABSTRACT

In this study, the horizontal soil stress values of the strip footings on sandy soils were investigated by model tests. The model tests are performed in a square shaped box and pressure transducer was used to measure the stresses. Besides, sand specimens with two different densities were prepared to investigate the effect of density. The experimental results were compared with Boussinesq's solution.

